

Integratie van akoestische eisen met betrekking tot flankerend geluid in concepten voor koudebrugarme detaillering in massiefbouw

Nathan Van Den Bossche, Prof. Arnold Janssens, Els Van Londersele

Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Architectuur en Stedenbouw
Jozef Plateastraat 22, B-9000 Gent, België
Tel: +32 9 264 39 27 Fax: +32 9 264 41 85
E-mail: nathan.vandenbossche@ugent.be

ABSTRACT

Lineaire koudebruggen vormen een belangrijk onderdeel van de totale warmteverliezen in gebouwen, daarom zal het Vlaams Gewest binnen afzienbare tijd eisen opleggen om die verliezen te beperken. De berekening van de warmteverliezen ter plaatse van bouwknopen is een correctie voor de vereenvoudigde tweedimensionale vereenvoudiging op basis van buitenafmetingen (NBN B 62-002) en is sterk afhankelijk van de geometrie. Meestal wordt gebruik gemaakt van numerieke berekeningsmethodes voor twee- of drie-dimensionaal warmtetransport om de thermische prestaties van bouwdetails te analyseren. Architecten en ingenieurs dienen echter te beschikken over criteria om de resultaten van de berekening te kunnen toetsen: wanneer voldoet een detail, en wanneer zijn verdere ingrepen nodig? Er is een methodologie ontwikkeld om dergelijke criteria te bepalen voor woongebouwen, waarbij er rekening is gehouden met de geometrie en technische mogelijkheden.

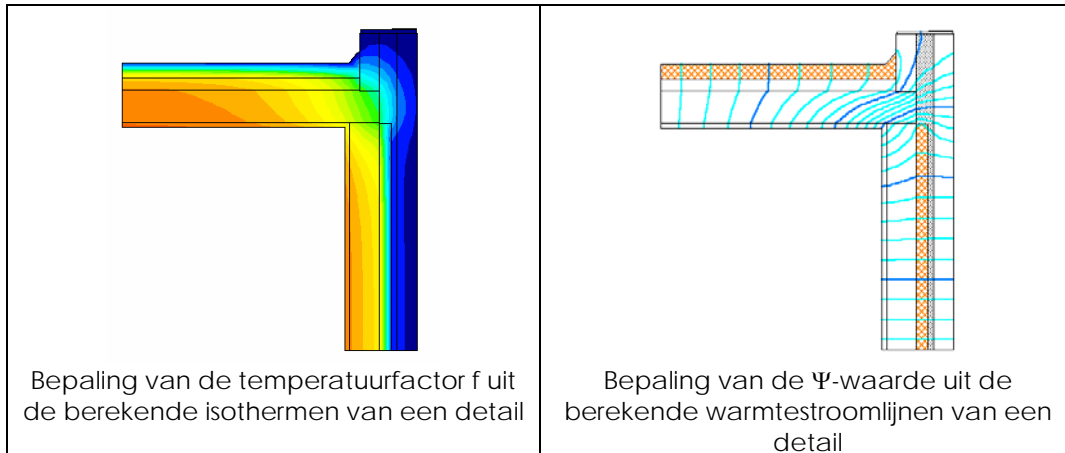
1. NIEUWE AKOESTISCHE NORM NBN S 01-400-1

29 januari 2008 is de nieuwe akoestische norm gepubliceerd waardoor de voorgaande versies uit 1977 en 1987 vervallen. In die periode zijn de verwachtingen van bewoners ten aanzien van akoestische kwaliteit van woningen toegenomen, hetgeen in de norm tot uiting komt in strengere eisen. De norm maakt onderscheid tussen een normaal en verhoogd akoestisch comfort voor luchtgeluidisolatie, contactgeluidisolatie, gevelisolatie en uitrustingslawaai. Om aan deze nieuwe randvoorwaarden te voldoen kan men gebruik maken van richtlijnen die het WTCB opgesteld heeft, computersimulaties laten uitvoeren of metingen doen ter plaatse. In tegenstelling tot vroeger wordt nu ook de flankerende transmissie expliciet in rekening gebracht in de berekeningen om de prestaties te voorspellen.

Het WTCB doet momenteel onderzoek naar de invloed van detaillering op akoestische prestaties, die tot uiting komt in de koppelcoëfficiënt (ook K_{ij} -waarde genoemd). Momenteel zijn die resultaten nog niet gepubliceerd en zijn er weinig referentiedetails beschikbaar. Eén van de zaken die wel al

grondig onderzocht zijn betreft het gebruik van soepele tussenlagen op basis van rubber of aerosol. Het gebruik van deze tussenlagen laat toe om in bepaalde situaties de benodigde massa voor wanden of vloeren te beperken en toch de eisen te halen.

2. KOUDEBRUGGEN



Figuur 1: prestatie-indicatoren op basis van numerieke berekeningen

Temperatuurfactor

De temperatuurfactor f is een indicator voor de laagste binnenoppervlaktetemperatuur θ_{si} ter plaatse van het detail. Dit is in feite een dimensieloze temperatuur die de binnenoppervlaktetemperatuur onafhankelijk van de exacte randvoorwaarden beschrijft, met een waarde tussen 0 en 1. Bij de bepaling van deze temperatuurfactor ter plaatse van het detail maakt men bovendien gebruik van de lokale verlaagde warmteovergangscoefficiënt in plaats van de normwaarde voor warmteverliesberekeningen. Hiermee brengt men de verminderde stralingsoverdracht ter plaatse van hoeken in rekening. De gebruikte waarde van de overgangsweerstand wordt vaak aangegeven in suffix, vb. $0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$ bij gebruik van $\alpha_i = 5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

De bouwdetailering moet er voor zorgen dat het risico op lokale schimmelontwikkeling en oppervlaktecondensatie aan het binnenoppervlak beperkt is. Hiervoor moet de lokale relatieve vochtigheid lager blijven dan 80%. In België leggen de Technische Voorlichtingen vast dat de dimensieloze minimumtemperatuur op elk punt van het binnenoppervlak groter moet zijn dan 0.7 (WTCB 1984). Dit criterium biedt echter geen garantie op probleemloze details in gebouwen met klimaatklasse 4, of in weinig verwarmde lokalen.

$$f_{0.2} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0.7$$

Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt

De invloed van twee-dimensionaal warmtetransport wordt gegeven door de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt Ψ (in $\text{W/m}^2\text{K}$). De Ψ -waarde geeft aan

hoe groot het extra warmteverlies per lopende meter detail en per graad temperatuurverschil is in vergelijking met een één-dimensionale referentie, waarbij het werkelijk detail voorgesteld wordt door een aaneenschakeling van vlakke delen met gekend oppervlak A en gekende U-waarde. Belangrijk hierbij is de afspraak over de 1-dimensionale referentie en over de definitie van de afmetingen van een bouwdeel (aan binnen- of buitenzijde gemeten). Conventioneel berekent men in ons land de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt uitgaande van de buitenwerks gemeten oppervlakken. Vaak wordt de gehanteerde referentie aangeduid met een suffix, vb. Ψ_e indien men uitgaat van buitenafmetingen, Ψ_i bij gebruik van binnenafmetingen (tussen vloeren en binnenwanden gemeten). Bij de bepaling van de Ψ -waarde maakt men gebruik van de normwaarden voor warmteovergangscoefficienten ter plaatse van vlakke wanden (EN ISO 6946).

$$\Psi = \frac{\Phi}{L(\theta_i - \theta_e)} - \sum_n (A_i U_i)$$

De Ψ -waarde van een detail moet met zorg geïnterpreteerd worden. Een bouwknoop met een grotere Ψ -waarde dan een andere knoop is niet noodzakelijk minder goed ontworpen. De Ψ -waarde moet op basis van de definitie geïnterpreteerd worden als een correctiefactor op de 1D-transmissieverliezen, waarbij zowel geometrische aspecten, als invloed van 2D- en 3D-warmtetransport een rol spelen. De Ψ_e -waarde van een hoekdetail hangt dus van meerdere factoren af:

- Continuïteit van de isolatielaag
- U-waarde (isolatiedikte) van de aangrenzende bouwdelen
- Positie van de isolatie: binnen-, spouw- of buitenisolatie.
- Hoekgeometrie: binnen- of buitenhoek

Als men uitgaat van buitenafmetingen voor de berekening van het warmteverliesoppervlak, leidt dit ter plaatse van buitenhoeken tot een overschatting van het verliesoppervlak. Ter plaatse van binnenhoeken wordt het verliesoppervlak dan weer onderschat. Hierdoor is de Ψ -waarde van hoekdetails verschillend van 0, zelfs als de isolatielaag continu doorloopt rondom de hoek.

3. IMPACT VAN BOUWDETAILS OP DE TRANSMISSIEVERLIEZEN

Indeling details

De invloed van de detaillering van bouwknoopen op de globale transmissieverliezen hangt enerzijds af van de Ψ_e -waarde van de knoop en anderzijds van de lengte L van de bouwknoop. Het K-peil van een gebouw neemt met een bepaalde factor toe door de extra warmteverliezen ter plaatse van bouwknoopen. De toename hangt verder af van de gebouwcompactheid C en het warmteverliesoppervlak A_T (op basis van buitenafmetingen):

$$C \leq 1: \quad \Delta K = 100 \frac{\sum \Psi_e L}{A_T}$$

$$1 < C < 4: \quad \Delta K = 300 \frac{\sum \Psi_e L}{A_T (C + 2)}$$

$$C \leq 4: \quad \Delta K = 50 \frac{\sum \Psi_e L}{A_T}$$

In wat volgt bestuderen we op basis van deze relaties de impact van bouwdetails op de warmtetransmissie.

Analyse van het warmteverlies

We maken gebruik van 5 referentiewoningen om een beeld te krijgen van het relatief belang van bouwdetails voor de transmissieverliezen. Deze referentiewoningen werden ontwikkeld in het kader van het IWT-project EL²EP-residential buildings. De woningen zijn alle éénsgezinswoningen met hetzelfde programma (vierpersoonsgezin), maar verschillen in typologie en compactheid. Tabel 1 geeft een overzicht van de geometrische kenmerken van de woningen.

Voor elk van de woningen werd het transmissieverlies ten gevolge van koudebruggen geanalyseerd. Hierbij werd uitgegaan van traditionele constructies: geïsoleerde spouwmuren, warme platte daken en geïsoleerde spantjesdaken. Om een representatieve Ψ -waarde te bepalen voor elke bouwknoop, gebeurde de berekening voor goed geïsoleerde bouwelementen (20 cm isolatie, $U \approx 0.2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$). De Ψ -waarde van een bouwknoop evolueert immers naar een constante waarde bij grotere isolatiediktes (kleine U -waardes). Hierdoor vormt het resultaat van de analyse een veilige inschatting van de thermische invloed van bouwdetails.

Tabel 1: Geometrische kenmerken van referentiewoningen

	Bungalow	Vrijstaand	Halfopen bebouwing	Rijwoning	Apparte- ment
Compact- heid	0.9 m	1.3 m	1.6 m	2.1 m	6.6 m
Verlies- oppervlak	611.3 m ²	395.4 m ²	330.1 m ²	231.9 m ²	64.5 m ²
Lengte bouw- knopen	255.2 m	236.9 m	197.2 m	198.0 m	73.0 m

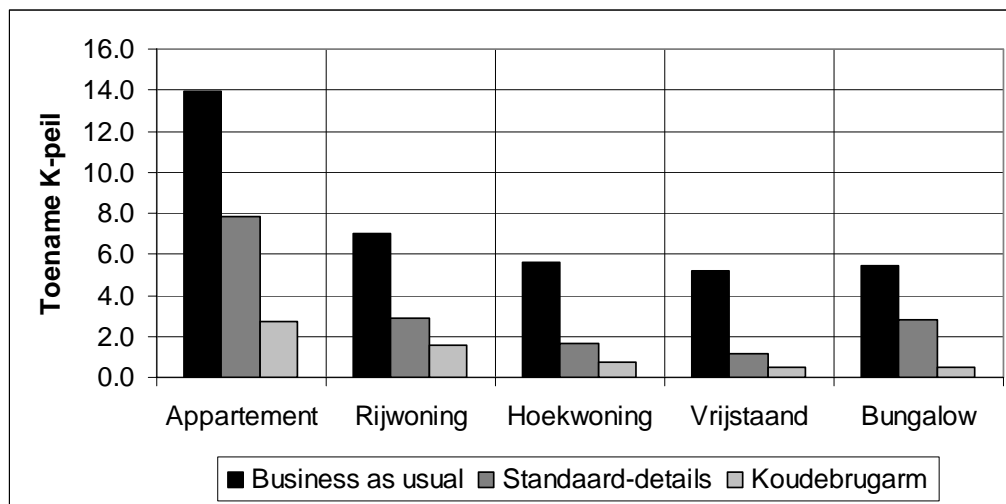
De analyse is gebaseerd op drie kwaliteitsniveau's van detaillering:

1. 'Business as usual': geen aandacht voor koudebrugarm detailleren. In dit scenario zijn de spouwen gesloten rondom ramen (onderbreking in isolatie), en zijn structurele onderbrekingen van de isolatie aanwezig (dakranden en -opstanden, funderingsaanzet, balkons, dragende muur tpv spantjesdak,...). Ter plaatse van de aansluiting van verdiepingsvloeren en binnenwanden in de gevel is de isolatie wel continu doorgetrokken.
2. 'Standaard-detaillering'. De isolatielaag is continu doorgetrokken rondom ramen, maar de structurele onderbrekingen in de isolatie zijn niet opgelost.

3. 'Koudebrugarme detaillering'. Er zijn maximaal technieken ingezet om de continuïteit van de isolatielaag te realiseren. Bijvoorbeeld ter plaatse van structurele onderbrekingen is consequent gebruik gemaakt van thermische sneden in isolerende bouwblokken of in cellenglas. Bij balkons is de betonnen vloerplaat thermisch onderbroken, etc...

Bij compactere bouwvormen neemt het relatieve belang van warmteverliezen ter plaatse van bouwdetails toe. Dit komt omdat bij compacte bouwvormen (flatgebouwen, rijwoningen) de lengte van bouwknopen ter plaatse van een buitenhoek of dakrand relatief gezien kleiner is. Bij deze bouwknopen wordt bij een goede detaillering de Ψ -waarde negatief (overschatting verliesoppervlak), waardoor warmteverliezen ter plaatse van andere bouwknopen gecompenseerd worden.

Wanneer geen aandacht aan koudebrugarme details wordt geschonken zijn de bouwdetails goed voor een maximale toename van het K-peil met 5 à 14 punten. In vergelijking met de huidige wettelijke eis K45 vertegenwoordigen de bouwdetails dan 11 à 31 % van de totale transmissieverliezen. Naarmate de bouwheer een hoger kwaliteitsniveau voor het K-peil verlangt, neemt het belang van koudebrugarme detailleren nog toe. Bij toepassing van koudebrugarme details met thermische sneden kan het globale aandeel van bouwdetails op het K-peil beperkt worden tot 0.5 à 2.7 punten. Dit vertegenwoordigt slechts 1 à 6% van de totale transmissieverliezen.



Figuur 2: Toename K-peil door 2D-warmteverlies ter plaatse van bouwknopen.

4. CRITERIA VOOR KOUDEBRUGARME DETAILS

In normen zijn weinig gegevens te vinden over criteria om Ψ -waarden van bouwdetails te beoordelen. De Europese normering vermeldt enkel dat een koudebrug met een Ψ_e -waarde groter dan 0.10 W/mK doorgaans vermeden kan worden door een aangepaste detaillering (EN ISO 14683). Bij passiefhuizen hanteert men als richtwaarde $\Psi_e < 0.01 \text{ W/mK}$.

Deze criteria gaan echter voorbij aan het feit dat bij de interpretatie van de Ψ -waarde ook rekening moet worden gehouden met geometrische

aspecten. Zo zullen 'buitenhoek'-details gemakkelijk een Ψ_e -waarde halen kleiner dan 0.1 W/mK, zelfs al is de isolatie onderbroken. Anderzijds kunnen 'binnenhoek'-details met een continu doorlopende isolatielaag een Ψ_e -waarde hebben groter dan 0.1 W/mK.

Tabel 2 geeft een voorstel voor Ψ_e -criteria voor koudebrugarme details, waarvan de eisen aangepast zijn aan de geometrische typologie van de details. Indien een ontwerp aan deze criteria voldoet is de invloed van de bouwdetailering op de transmissieverliezen doorgaans kleiner dan 5% (behalve bij zeer compacte bouwvormen). Een verdere optimalisatie van de Ψ_e -waarde onder deze richtwaarden is voor heel wat details technisch haalbaar en zinvol.

Tabel 2: Ψ_e -richtwaarden voor koudebrugarme bouwdetails

'BUITENHOEK'-details	$\Psi_e < 0.00$ W/mK Dakranden t.p.v. gevel
'BINNENHOEK'-details	$\Psi_e < 0.15$ W/mK Dak-opgaande wand
BALKONS (B)	$\Psi_e < 0.10$ W/mK Ter plaatse van gevel Ter plaatse van raam
RAAM- en DEUR-details	$\Psi_e < 0.10$ W/mK Latei Dorpel Dagkant Dakvlakvenster
STRUCTURELE aansluitingen Dakaansluitingen (R) Gevelknopen	$\Psi_e < 0.05$ W/mK Dak – binnenwand Dak-gemene muur Verdiepingsvloer Binnenwand Kolom
FUNDERINGS-aanzet (F)	$\Psi_e < 0.05$ W/mK Vloer op volle grond – gevel Vloer boven (kruip)kelder – gevel

Bij niet vermelde gevelknopen (hoeken,...) mag de isolatie niet in dikte verminderen.

5. BEHANDELING VAN KOUDEBRUGGEN IN DE EPB-WETGEVING

Momenteel geldt een overgangsregeling in de Vlaamse EPB-wetgeving waarbij de invloed van koudebruggen op de warmteverliezen nog niet hoeft in rekening gebracht worden. Deze overgangsregeling geldt voor stedenbouwkundige vergunningsaanvragen ingediend voor 31 december 2009. In de toekomst zullen de thermische invloeden van bouwdetails moeten verrekend worden volgens de voorschriften van Bijlage IV bij het EPB-besluit. De details van deze voorschriften zullen via een uitvoeringsbesluit geregeld worden.

Bijlage IV voorziet vijf manieren om de invloed van koudebruggen in rekening te brengen:

1. Door een 3D-numerieke berekening van de volledige gebouwschil

2. Door een 2D- of 3D-numerieke bepaling van de Ψ - en χ -waarden van alle lijn- en punkoudebruggen in de gebouwschil. De invloed van deze koudebruggen wordt op basis van hun lengte en aantal in rekening gebracht bij de bepaling van het specifiek warmteverlies door de gebouwschil.
3. Door een forfaitaire, minimale toeslag op het specifieke warmteverlies, indien de bouwdetaillering wordt opgevat volgens door de overheid erkende voorschriften. Concreet wordt momenteel gewerkt aan een koudebrugatlas met oplossingen die voldoen aan de richtwaarden.
4. Door de 2D- of 3D-numerieke bepaling van de thermische eigenschappen van die bouwdetails die niet voldoen aan de door de overheid erkende voorschriften. Naast de forfaitaire toeslag wordt de bijkomende invloed van deze afwijkende bouwdetails in rekening gebracht bij de bepaling van het specifiek warmteverlies.
5. Door een forfaitaire toeslag van 10 eenheden op het K-peil, en een overeenkomstige toeslag op het specifiek warmteverlies, indien helemaal geen rekening wordt gehouden met de invloed van koudebruggen. In dit geval moet de ontwerper dus een K35- in plaats van een K45-gebouw realiseren, om zich in regel te stellen met de EPB-wetgeving.

6. THERMISCHE EVALUATIE VAN AKOESTISCHE CONCEPTEN

Zoals vermeld in de inleiding zijn er momenteel weinig referentiedetails met betrekking tot akoestiek beschikbaar. Toch zijn er principieel weinig conflicten tussen de thermische en akoestische eisen die gesteld worden aan detaillering. Thermische isolatie is meestal zeer licht en bestaat vooral uit gesloten luchtcellen, bovendien dient de isolatie zoveel mogelijk door te lopen zonder structurele onderbrekingen. Het ontbreken van massa en structurele verbindingen is namelijk ook bij akoestiek van het grootste belang om flankerende geluidstransmissie te beperken. Op zich zijn er dus geen tegengesteld eisen met betrekking tot detaillering.

Er zijn een aantal typedetails gesimuleerd om de invloed van trillingsdempende tussenlagen op de thermische prestaties te evalueren. Een rubberen tussenlaag heeft een $\lambda = 0.17 \text{ W/mK}$, space-loft aerogel is zeer goed isolerend: $\lambda = 0.0159 \text{ W/mK}$. Beide lagen zijn 10mm dik en worden gebruikt om de trillingsoverdracht tussen vloeren en wanden te verhinderen. Uit de simulaties blijkt dat de rubberen tussenlaag een verschil geeft van ongeveer 0.001 W/mK op de Ψ_e -waarde, en de laag aerogel geeft een verschil van ongeveer 0.01 W/mK . De rubberen tussenlaag heeft dus geen significante invloed op de warmteverliezen, de aerogel heeft een beperkte invloed en de prijs is momenteel nog niet in verhouding tot de potentiële besparing voor courante details.

7. CONCLUSIES

De nieuwe akoestische norm besteedt meer aandacht aan de invloed van flankerend geluid in gebouwen. Door dragende structuren te ontkoppelen

met trillingsdempende tussenlagen kan men een hogere akoestische kwaliteit behalen. De invloed van dergelijke tussenlagen op de thermische prestaties is echter zeer beperkt.

De invloed van koudebruggen op het K-peil is geanalyseerd aan de hand van 5 typewoningen. De warmteverliezen van de verschillende details in de woningen zijn gesimuleerd voor drie kwaliteitsniveau's van detaillering. Bij een business-as-usual aanpak van de details blijken deze 11 tot 31% van de totale transmissieverliezen van de woningen te vertegenwoordigen. Indien koudebrugarme detaillering wordt toegepast die voldoet aan de opgegeven richtwaarden blijft het aandeel beperkt tot 1 tot 6%.

Er zijn richtwaarden ontwikkeld om de warmteverliezen van bouwknopen te toetsen, waarbij rekening wordt gehouden met de geometrie van het detail. Wanneer de regelgeving in voege treedt zal de overheid een atlas ter beschikking stellen met details die voldoen aan deze eisen. Bij andere details kunnen de gesimuleerde warmteverliezen vergeleken worden met de voorgestelde referentiewaarden.

8. REFERENTIES

EN ISO 10211. Thermal bridges in building construction. Calculation of heat flows and surface temperatures.

NBN S 01-400-1. Akoestische criteria voor woongebouwen

Janssens A. 2006. Warmte- en luchttransport in gebouwen. Cursus energietechniek in gebouwen. Syllabus Module 1: basisbegrippen.

Janssens A., Van Londersele E., Vandermarcke B., Roels S., Standaert P., Wouters P. Development of Limits for the Linear Thermal Transmittance of Thermal Bridges in Buildings. *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X* – Clearwater, Florida, US. 2007

Transmissie referentie document, Vlaams Energieagentschap 2006, www.energiesparen.be

Vandermarcke B., Schietecat J., Houvenaghel G., Van Orshoven D., Roels S., Janssens A. Handling thermal bridges in the context of EPBD: Description of the approach developed in Belgium. *Proceedings of the EPIC-AIVC Conference*, Lyon, Frankrijk, 2006

Wouters, P. Schietecat J., Standaert P. 2003. Practical guide for the hygrothermal evaluation of thermal bridges: a SAVE-COPRACTICE-project document. www.eurokobra.org

WTCB. 1984. *Technische voorlichting 153. Vochthuishouding in gebouwen: schadeporzaken, koudebruggen, binnenklimaat*. Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, Brussel.